様式Ｃ－１９

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成２５年　６月　３日現在

機関番号：３３４０１
研究種目：基盤研究（C）
研究期間：2010 年度　～　2012 年度
課題番号：２２５６０７３２
研究課題名（和文）
固体高分子形燃料電池用ステンレス鋼製セパレータに適する新規表面処理の開発
研究課題名（英文）
Development of the new surface treatment to be suitable for a stainless steel separator for polymer electrolyte fuel cell
研究代表者
羽木 秀樹　（HAGI HIDEKI）
福井工業大学・工学部・教授
研究者番号：40117213

研究成果の概要（和文）：市販の燃料電池は高価であり、特に、セパレータのコスト削減が必要とされている。本研究では、コスト削減のためにステンレス鋼板を素材とし、電気伝導度を改善するために黒鉛を付着させる新規表面処理法によってセパレータを製造することを試みた。アルコールに黒鉛粉末を分散させた溶液にステンレス鋼板を浸漬し、黒鉛粉末をほぼ均一にステンレス鋼板表面に付着させた。そのステンレス鋼板を新しい鋼板で挟み込んで冷間圧延することによって、黒鉛を強く付着させたステンレス鋼板を製造できた。

研究成果の概要（英文）：A commercially available fuel cell is too expensive, and cost reduction of it is required. Particularly, cost reduction of the separator is necessary. In this study, a new surface treatment has been applied to the separator of stainless steel, which is a candidate material for a low price separator, to improve electric conductivity. At first, we immersed stainless steel sheets in the mixture of alcohol and graphite powder to adhere graphite to the surface of stainless steel sheets uniformly. Then, the stainless steel was sandwiched with new stainless steel sheets and cold-rolled to adhere graphite powder strongly.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
２０１０年度	2,200,000	660,000	2,860,000
２０１１年度	600,000	180,000	780,000
２０１２年度	500,000	150,000	650,000
総　計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学
科研費の分科・細目：材料工学、材料加工・処理
キーワード：表面・界面制御、溶射・コーティング・粒子積層プロセス

１．研究開始当初の背景

地球温暖化などの環境問題に対する世界的な意識の高まりとともに、その原因とされる CO_2 の大幅な削減が必要とされていた。特に日本は、鳩山首相が国連にて「温室効果ガス 25%削減」を表明したことで、CO_2 を大量に放出する石油、石炭などの化石燃料依存体質から、水素エネルギーや、太陽光、風力などの自然エネルギーの積極的利用体質への移行が不可欠となっていた。この中で水素エネルギーは次世代の環境に優しいエネルギーとして注目され、水素を利用した燃料電池発電技術が開発されてきた。燃料電池にはいくつかの種類があり、固体高分子形燃料電池（以下、PEFC という）は、作動温度が 80℃以下と低く、起動時間が短いという大きな特徴を有しており、家庭用燃料電池、自動車用燃料電池、さらには携帯モバイル用燃料電池

として有望視されていた。しかしながら、PEFC の普及には、電極触媒、電解質、セパレータなどの主要部品の大幅なコスト低減、そして更なる高効率化と高信頼化が必要であった。特にセパレータは、PEFC 構成部品のコストの大半を占めており、このコストを低減するとともに、高性能化することが普及の必須条件となっていた。

本研究開始当時、研究・開発されていたセパレータの材料には、(1)黒鉛炭素系、(2)樹脂モールド炭素系、(3)金属系があった。“黒鉛炭素系材料”は寿命と信頼性に優れているが、製造の困難さ、高コストに加えて、材料の脆さとガスリーク防止のために薄膜化できないなど、普及には大きな欠点がある。また“樹脂モールド炭素系材料”は成形が容易でコストを低減できるが、熱衝撃性と強度に劣り、薄膜化が困難であるなど、普及にはいくつかの大きな問題があった。一方、“金属系材料”は比較的低コストで加工性が良好であるので、耐食性と電気伝導性に優れる材料を開発できれば、量産化可能で、低コスト化、コンパクト化が期待でき、燃料電池の普及に大きく貢献できることが考えられた。

PEFC 用金属セパレータの開発も数多く行われていた。各種ステンレス鋼やチタン合金などの高耐食性材料を用い、これらの表面に形成される酸化物皮膜による抵抗の増大を抑制するために、金やロジウムなどの貴金属、あるいは導電性セラミックスを表面処理によって被覆する方法が多く行われていた。しかしながら、貴金属の使用はコスト増に繋がるとともに、近年の希少金属対策にも反することになっていた。また、TiN、TiB_2、TiAlN などの導電性セラミックスの被覆にはドライコーティングが用いられており、これも大きなコスト増になっていた。

２．研究の目的

本研究では、表面処理によって耐食性が劣化しないこと、量産化に適すること、貴金属などの高価な物質は使用しないこと、耐水素脆性が向上することを前提として、新しい表面処理の開発を試みることにした。これらの前提を満足する方法として、ステンレス鋼を素材とし、その後、ブラスト処理→黒鉛粒子の塗布→冷間圧延を行うことによって、表面層に圧縮ひずみを付与し、表面酸化皮膜の除去と黒鉛粒子の付着を行う方法を考え出した。つまり、耐食性に優れるステンレス鋼を素材とし、表面抵抗の増大をもたらす表面酸化皮膜をブラスト処理によって除去した後、電気抵抗が小さく耐食性に優れる黒鉛粒子を塗布し、それを冷間圧延によってステンレス鋼表面に固着させる。ステンレス鋼と黒鉛粒子によって耐食性を確保するとともに、ブラストによるステンレス鋼表面層での圧縮ひずみの発生によって耐水素脆性の向上を、黒鉛粒子の付着によって電気伝導性の向上をそれぞれ図る。この方法では安価な黒鉛粒子を用い、機械的な単純な工程であるので、量産化可能で、低コスト化も十分に期待できる。

このような多くの特徴を有する新しい表面処理を実証化することを目的として、黒鉛粒子の均一な塗布方法の開発と、黒鉛粒子を固着させるための冷間圧延条件の確立を行う。本研究によって、この新しい表面処理の有用性が実証できれば、企業と連携してセパレータを製作し、寿命評価を実施したい。

さらに、ステンレス鋼などの金属製セパレータには耐水素脆性に優れることも要求される。特にステンレス鋼では、室温付近における固溶水素の拡散速度や水素脆化の機構が明確でないとともに、水素分析法も確立していない。そこで、ステンレス鋼での水素分析に昇温脱離法を適用して、水素分析法の確立と水素の拡散速度の測定を試みながらステンレス鋼中の水素の固溶状態を明らかにする。これらに関する研究結果に基づいて、耐水素脆性に優れるステンレス鋼製セパレータの開発に繋げる。

３．研究の方法

（１）黒鉛付着処理

黒鉛粉末には関東化学(株)製黒鉛粉末(粒径 75～106μm)を用いた。黒鉛粉末を付着させる基材は市販の板厚 0.2mm の SUS304 ステンレス鋼とした。このようなステンレス鋼板を 20mm×20mm、または 20mm×50mm の形状に切断して、黒鉛付着処理を行った。本実験では、ステンレス鋼板にまず黒鉛粉末をできるだけ均一に付着させた後、その粒子をステンレス鋼板に強く固着させる。その均一に黒鉛粉末を付着させる方法として次の 5 種類を試みた。①試薬サジを用いてステンレス鋼板表面に黒鉛粉末を振りかける方法、②刷毛を用いて黒鉛粉末をステンレス鋼板に塗る方法、③黒鉛粉末の中にステンレス鋼板を入れる方法、④黒鉛粉末をエチルアルコールに適当な割合に混ぜて、その混合物をステンレス鋼板に刷毛で塗る方法、⑤黒鉛粉末をエチルアルコールに適当な割合に混ぜて、その混合物にステンレス鋼板を浸漬した後、取り出す方法。黒鉛粉末をステンレス鋼板表面に強く固着させるために、刷毛での塗布または黒鉛混合物中への浸漬処理の後、ステンレス鋼板を重ねて冷間圧延した。冷間圧延には 2 段小型圧延機を用い、室温で圧延した。
黒鉛粉末の付着処理を行った後、デジタルカメラとレーザー顕微鏡を用いてステンレス鋼板表面を観察した。

（２）水素分析

市販の SUS301、302、304、316、321、

347、430 の各種ステンレス鋼と、高純度鉄、純ニッケルの 9 種類の板材を入手した。それらステンレス鋼板材を板厚 0.1mm に冷間圧延し、適当な形状に切断した後、真空中において 1000℃で 3.6ks 加熱し、炉冷して、実験に供した。

試料への水素導入には定電流カソード分極法を用いた。電流密度は 100A/m^2、電解液には水素吸収促進剤としての As_2O_3 を微量(5g/m^3)含む 0.5kmol/m^3 H_2SO_4 水溶液を用い、液温は 25.0℃とした。

金属材料の水素分析法には、高温溶解水素抽出法、昇温脱離法、グリセリン置換法（水銀置換法)、重量法、電気抵抗法、電気化学的放出法など数多くあるが、本実験では、高温溶解水素抽出法と昇温脱離法を併用して水素分析した。高温溶解水素抽出法による水素分析には堀場製作所製水素分析装置 EMGA-621W を、昇温脱離法による水素分析には、赤外線加熱炉、真空排気装置、質量分析型真空計から構成される自作の昇温脱離型水素分析装置を用いた。

昇温脱離水素分析では、試料を一定の昇温速度で加熱し、水素放出速度（単位時間当たりに試料から放出される水素の量）と試料温度の関係を測定した。水素導入のためのカソード分極電流を遮断した後、できるだけ手早く試料を赤外線加熱炉に入れ、炉内を排気した。炉内の圧力がほぼ一定になった後、一定の昇温速度（0.65℃/s）になるようにして室温から 1000℃まで試料を加熱して、試料から放出される水素を質量分析型真空計で検出した。検出する気体の質量を 2 に固定して、水素ガス（H_2、質量 2）のみを検出できるようにした。しかし、本実験で用いた質量分析型真空計では水素ガスの分圧を直接求めることはできないので、それとほぼ比例するイオン電流値に比例する出力を時間当たりの放出水素原子数に換算した。このようにして測定した単位時間当たりの放出水素の原子数と試料温度の関係を、昇温脱離スペクトルと呼ぶことにする。固溶状態の異なるいくつかの水素が存在する場合には昇温脱離スペクトルにいくつかの水素放出ピークが現れ、それらのピーク面積と試料質量から、固溶状態の異なる水素を分けてそれぞれの濃度が算出できる。

４．研究の結果

４．１　黒鉛粉末の塗布

図１(a)に示すように、陶器の皿にステンレス鋼板を入れて、試薬サジを用いて黒鉛粉末を鋼板表面に振りかけた。また、図１(b)に示すように、市販の絵の具用刷毛を用いて陶器製皿に入れたステンレス鋼板表面に黒鉛粉末を塗布した。これらの処理の後、陶器製皿からステンレス鋼板を取り出した。これらの場合には黒鉛粉末が付着しないことが分かった。次に、ステンレス鋼板を黒鉛粉末の中に入れ、取り出して、付着状況を調べた。ステンレス鋼板を取り出す途中で、黒鉛粉末は鋼板表面から落ちた。これらのように、ステンレス鋼板表面に黒鉛粉末を単純に塗布するだけでは付着しないことが分かった。

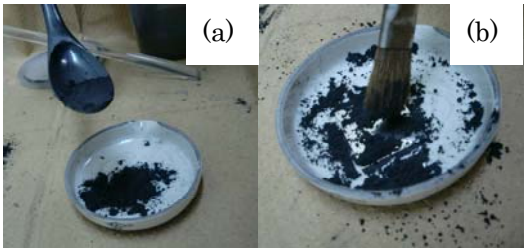

図１　試薬サジを用いて黒鉛粉末をステンレス鋼板表面に振りかけた時(a)と、刷毛を用いてステンレス鋼板表面に黒鉛粉末を塗布した時(b)の写真

４．２　黒鉛粉末とエチルアルコールの混合

黒鉛粉末とエチルアルコールを適当な割合で混合したものをステンレス鋼板表面に付着させることを試みた。プラスチック製容器に黒鉛粉末 5g を入れ、エチルアルコールの量を 1g ずつ増量しながら混ぜ合わせた。

黒鉛粉末 5ｇにエチルアルコール 1g を混合させた状態を図２(a)に示す。エチルアルコールの量が十分でなく、一部の黒鉛粉末は凝集しているが、多くの黒鉛粉末は粉末の状態で、濡れていないことが分かる。そこで、エチルアルコールを 1g さらに加えて混合した。

図２(b)に示すように、黒鉛粉末 5g にエチルアルコール 2ｇを混合させた場合には、多くの黒鉛粉末が凝集状態になることが分かる。さらにエチルアルコール 1g を加えて混合した。黒鉛粉末 5g にエチルアルコール 3g を混合させた状態を図２(c)で示す。混合物は粘性の高く、粘土状でステンレス鋼板表面に塗布することはできなかった。さらにエチルアルコールを 1g 加えた。黒鉛粉末 5g にエチルアルコール 4g を混合させた状態を図２(d)に示す。混合物はやや粘性の低くなり、絵の具用の刷毛で塗ることができるようになった。また、混合物中にステンレス鋼板を浸漬することはできなかった。

さらにエチルアルコール 1g を加えた。黒鉛粉末 5g にエチルアルコール 5g を混合させた混合物を図３(a)に示す。粘性が低い状態になることが分かる。この状態での混合物は絵の具用の刷毛で塗ることと、この混合物中にステンレス鋼板を浸漬することができると考えた。そこで、黒鉛粉末 5g にエチルアルコールを 5g 以上加えて混合した混合物を用いて、ステンレス鋼板表面への付着処理を行った。黒鉛粉末 5g にエチルアルコールを 6g 加えて混合したものを図３(b)に示す。エチル

アルコールを 5g 加えたものよりは粘性が少しずつ低くなっていくが、ステンレス鋼板表面の黒鉛粉末の付着状態は変わらなかった。そこで、さらにエチルアルコール 1g ずつ増加させていき、黒鉛粉末 5g にエチルアルコール 7g、8g、9g と加え混合させると、粘性がかなり低くなり、ステンレス鋼板表面への塗布が容易になった。

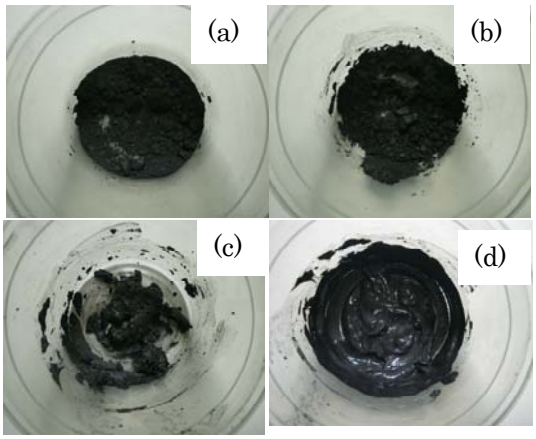

図２　黒鉛粉末 5g+エチルアルコール 1g の混合物(a)、黒鉛粉末 5g+エチルアルコール 2g の混合物(b)、黒鉛粉末 5g+エチルアルコール 3g の混合物(c)、黒鉛粉末 5g+エチルアルコール 4g の混合物(d)の状態

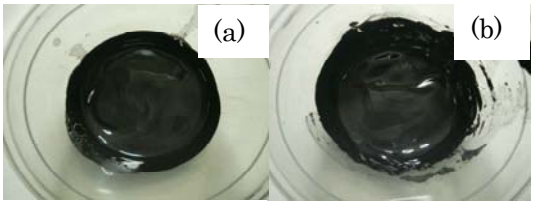

図３　黒鉛粉末 5g+エチルアルコール 5g の混合物(a)、黒鉛粉末 5g+エチルアルコール 6g の混合物(b)の状態

４．３　黒鉛粉末を混ぜたエチルアルコール溶液を塗布した試料

図２(a)～(c)に示したように、黒鉛粉末 5g に加えるエチルアルコールが少なく、1～3ｇを加えた場合には、その混合物は団子状になって、ステンレス鋼板表面に塗布できなかった。そこで、混合物におけるエチルアルコールの割合を 4～9g に増やして粘性を少しずつ小さくし、その混合物をステンレス鋼板表面に絵の具用の刷毛を用いて塗布することを試みた。黒鉛粉末 5g にエチルアルコール 4g 加えた混合物をステンレス鋼板に絵の具用の刷毛を用いて塗布したが、ステンレス鋼板表面に均一には付着しなかった。

黒鉛粉末 5g とエチルアルコール 5g を加えた混合物を、絵の具用の刷毛を用いてステンレス鋼板表面に塗布した。この場合には、塗布することはできたが、ステンレス鋼板表面に凹凸が認められ、均一に塗布することはできなかった。黒鉛粉末 5g にエチルアルコール 7～9g を加えた混合物をステンレス鋼板表面に塗布した。アルコールを増量することによって表面の凹凸が小さくなった。

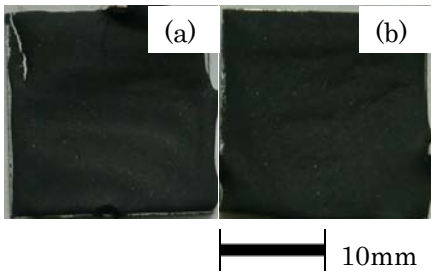

図４　黒鉛粉末 5g＋エチルアルコール 5g の混合物に浸漬(a)、黒鉛粉末 5g＋エチルアルコール 6g の混合物に浸漬(b)したステンレス鋼の表面写真

黒鉛粉末に加えるエチルアルコールを増やした混合物にステンレス鋼板を浸漬して、表面付着を調べた。黒鉛粉末 5g にエチルアルコール 5、6g を加えた混合物にステンレス鋼板を浸漬したものを図４に示す。エチルアルコールを 5g、6g 加えた混合物中に浸漬すると、次第に表面付着が良好になるように見える。しかし、刷毛で塗るよりも表面の凹凸が大きくなった。これらのように、黒鉛粉末にエチルアルコールを混合させると、塗布および浸漬処理によってステンレス鋼板表面に黒鉛粉末を付着させることができるようになるが、黒鉛粉末 5g にエチルアルコールを 5g、6g を加えた場合には、均一な付着は得られなかった。

エチルアルコールの量を 7～9g と増量した混合物中にステンレス鋼板を浸漬した場合の表面写真を図５に示す。エチルアルコール

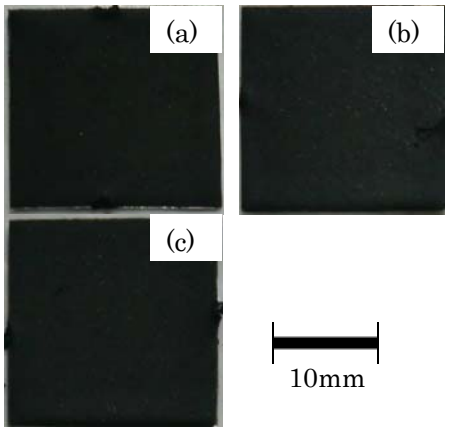

図５　黒鉛粉末 5g＋エチルアルコール 7g の混合物に浸漬(a)、黒鉛粉末 5g＋エチルアルコール 8g の混合物に浸漬(b)、黒鉛粉末 5g＋エチルアルコール 9g の混合物に浸漬(c)したステンレス鋼の表面写真

を 7～9g に増量すると、次第に混合物の粘性が低くなり、浸漬処理によって黒鉛粉末が容易に表面に付着して、付着した表面の凹凸が小さくなる。また、ステンレス鋼板表面全体が黒くなっており、黒鉛粉末が比較的均一に付着していることが分かる。

これらのように、黒鉛粉末とエチルアルコールを適当な割合で混合すると、塗布および浸漬によってステンレス鋼板表面に均一に黒鉛粉末を付着させることができる。

４．４　黒鉛粉末をステンレス鋼板に付着させるための冷間圧延

黒鉛粉末とエチルアルコールを適当な割合で混合すると、塗布および浸漬によってステンレス鋼板表面に均一に黒鉛粉末を付着させることができた。そこで、2 段目の付着処理として、冷間圧延による強固な黒鉛の付着処理を試みた。塗布および浸漬によってステンレス鋼板表面に均一に黒鉛粉末を付着させることのできる条件として、黒鉛粉末 5g にエチルアルコール 7～9g を加えた混合物をステンレス鋼板表面に塗布して冷間圧延を行った。冷間圧延をするために、20mm×50mm の形状のステンレス鋼板を用いた。ステンレス鋼板表面に黒鉛粉末の混合物を塗布、または混合物中に浸漬した後、大気中で自然乾燥させた。その後、同じ形状のステンレス鋼板をその黒鉛粉末の付着した表面に被せた。刷毛での塗布は片面のみで、混合物中に浸漬すると両面に黒鉛粉末が付着したので、塗布したものは 2 枚のステンレス鋼板を重ねて、浸漬したものは 3 枚のステンレス鋼板を重ねた。これら 2、3 枚のステンレス鋼板の取り扱いが容易になるように、市販のセロハンテープで固定して冷間圧延した。冷間圧延後、黒鉛粉末付着面を観察するために、それらのステンレス鋼板をはがすように力を加えた。ステンレス鋼板は小さな力で分離することができた。2 枚のステンレス鋼板に挟まれた黒鉛粉末の多くは、予め黒鉛粉末を付着させたステンレス鋼板ではなく、被せたステンレス鋼板側に付着していた。一例として、黒鉛粉末 5g にエチルアルコールを 9g 加えた混合物中に浸漬して冷間圧延したものを図 6 に示す。この 3 枚の写真は、黒鉛粉末を付着させた鋼板を、付着処理していない 2 枚の鋼板でサンドイッチして圧延し、それら 3 枚の鋼板を剥がしたそれぞれの表面を示す。

3 枚のステンレス鋼板を重ねてセロハンテープで固定し、冷間圧延すると、冷間圧延中に 3 枚のステンレス鋼板が分離することが多くあった。そこで、ステンレス鋼板の端部を、半田付けで固定することにした。半田付けが均一で、少量でできれば、冷間圧延中の分離を抑制できた。

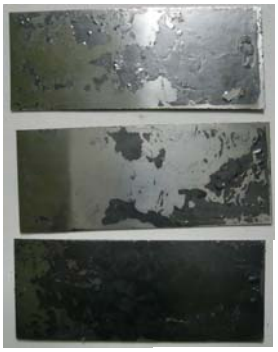

図 6　黒鉛粉末 5g+エチルアルコール 9g の混合物中に浸漬した後、冷間圧延したステンレス鋼板試料の写真

４．５　ステンレス鋼での水素分析

カソード分極していない各種ステンレス鋼、高純度鉄、純ニッケルの試料を高温溶解水素抽出法によって水素分析した。カソード分極していない場合でも、見かけ上これらの試料には 13～40mass-ppm と比較的高濃度の水素が含まれていた。また、9 種類の試料における水素濃度の相違は比較的小さいと言える。

このような試料を 3.6ks カソード分極し、分極電流遮断後できるだけ手早く高温溶解水素抽出法で水素分析した。9 種類の試料ともに、分極に伴って水素濃度が増加し、分極によって水素の侵入が起こることが分かった。また、分極した試料の水素濃度は純ニッケル試料において極めて大きく、合金元素として Ni を多く含む SUS316 ステンレス鋼試料において大きかった。つまり、分極した試料の水素濃度は試料中の Ni 濃度と関係するように見えた。そこで、分極後の試料の水素濃度と試料の合金組成との関係を調べた。本研究では、約 18%の Cr 濃度のステンレス鋼を多く試料として用いており、Cr 濃度が大きく異なる試料での水素濃度の測定値がなく、水素濃度の Cr 濃度依存性を詳細に議論することはできないが、その 18%Cr 濃度での水素濃度はほぼ一致していた。この点では、水素濃度は Cr 濃度と関連する可能性がある。

水素濃度と試料中の Ni 濃度との関係において、Ni 濃度が大きいほど水素濃度が大きくなる傾向が認められた。このことからすれば、ステンレス鋼における水素濃度は Ni 合金濃度の影響を強く受け、Ni 合金濃度が大きなステンレス鋼ほど水素侵入が容易であることになる。

カソード分極していない各種のステンレス鋼、高純度鉄、純ニッケルの試料について、昇温脱離法によって水素分析した。これら試料を室温から 1000℃まで加熱して測定された水素の昇温脱離スペクトルには水素放出

ピークは認められず、昇温脱離法による水素分析では水素濃度は 0 となった。それら試料は 1000℃で真空焼鈍しており、1000℃まで加熱しても試料から放出される水素が検出できなかったことと対応し、昇温脱離法による水素分析の有効性が確認できる。

しかしながら昇温脱離法による水素濃度の測定値（0mass-ppm）は、前述の高温溶解水素抽出法による水素濃度の測定値（13～40mass-ppm）と異なる。高温溶解水素抽出法による水素分析の際に本研究で用いた装置では、約 2000℃に試料を加熱して、試料から放出される水素を熱伝導型ガスクロマトグラフで検出する。熱処理温度が 1000℃であるとともに、昇温脱離法による水素分析では加熱温度が 1000℃までであるので、高温溶解水素抽出法の方が大きな水素濃度の測定値になる原因として、1000～2000℃で試料から放出される水素が存在することが考えられる。

一方、本研究で用いた高温溶解水素抽出型水素分析装置では、ガスクロマトグラフの出力から分析装置に試料を入れていない場合の出力（バックグランド）を減じるとともに、その出力の増分と試料質量の比を市販の標準試料を用いて校正することによって水素濃度を得る。試料表面に水分や油脂が付着していると、それらの分解によって水素が発生することになり、バックグランドが複雑に変化して、水素濃度を高精度に測定できないことになる。また本研究では、高温溶解水素抽出法での水素分析において、分析装置における試料導入部の大きさの制限によって試料片の質量を約 0.005g としたが、その質量は水素分析装置の取扱説明書に記載の推奨値（約 1g）よりも極めて小さい。これによって水素濃度の測定値に大きな誤差を生む可能性がある。これらを考慮すると、カソード分極していない各種試料には水素が含まれておらず、水素濃度は 0 であるにもかかわらず、高温溶解水素抽出法の場合には大きな測定誤差のために 13～40mass-ppm の値が得られた可能性もある。しかしながら、２種類の水素分析法によって求められた水素濃度における相違の原因は現在のところ明らかではない。

各種ステンレス鋼試料と、高純度鉄および純ニッケル試料をカソード分極した後、昇温脱離法によって水素分析した。80℃付近の大きな水素放出ピークと、340℃付近の小さな水素放出ピークとが認められた。これらの実験結果から、①カソード分極によってそれら試料に水素が侵入すること、②水素の固溶状態にはいくつかあること、③大部分の固溶水素は比較的不安定で、室温付近の低温で試料から放出されることが分かった。80℃付近と340℃付近の水素放出ピークの面積から算出される水素濃度と試料中の Ni 濃度を対応させた結果、80℃付近の水素放出ピークは格子中の水素あるいは弱い格子欠陥にトラップされた水素の放出に、340℃付近の水素放出ピークは合金元素の Ni にトラップされた水素の放出に、それぞれ対応することが分かった。

５．研究成果

燃料電池用金属セパレータの表面処理法として、黒鉛粉末とエチルアルコールの混合物にステンレス鋼板を浸漬し、黒鉛を付着した後、冷間圧延する方法が有望であることが分かった。また、ステンレス鋼での水素分析法として昇温脱離法が有効であることが明らかとなった。

６．主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計２件）

①羽木 秀樹、SUS304 ステンレス鋼への黒鉛付着処理、福井工業大学研究紀要、学内査読有、No.41、2011、99-106
http://hdl.handle.net/10461/7273
②羽木 秀樹、月舘 晃吉、燃料電池用金属セパレータの開発を目指した SUS304 ステンレス鋼表面への黒鉛付着処理、福井工業大学研究紀要、学内査読有、No.42、2012、掲載予定

７．研究組織

(1)研究代表者

羽木 秀樹　（HAGI HIDEKI）
福井工業大学・工学部・教授
研究者番号：40117213